

指紋画像の構造化による照合/画像符号化システムの提案

小館 亮之 朱 青 浦野 義頼 富永 英義

通信・放送機構 早稲田リサーチセンター 早稲田大学理工学部電子通信学科
〒169 東京都新宿区西早稲田1-21-1 〒169 東京都新宿区大久保3-4-1
早大早稲田ビル5階 55号館S06-03 富永研究室

あらまし: 指紋は、万人不同の個人の身体的特徴であり、古くから犯罪捜査等の分野において本人同定の有力な証拠として用いられてきており、その安定した個人性、及びデータ処理の簡易性で今後も更なる実用化が期待される。本稿では、指紋のレイアウト情報と形状情報とによって構造的観点から指紋を提案する。まず、隆線単位として隆線のレイアウト情報と形状情報とによって構造的に記述する手法を提案する。また、位置ずれ、かすれ等の入力誤差に対応するために隆線形状をウェーブレット極値によって表現することによる、提案方式は、特徴記述パラメータによる画像の再構成が可能であり、また、シミュレーションによる部分照合実験を行った結果、隆線の形状特徴が抽出パラメータに反映されており、本方式の基本的な照合性能を確認した。

キーワード: 指紋画像処理、本人同定、情報セキュリティ、ウェーブレット解析、情報圧縮

A Proposal of Verification/Image Coding Schemes by Fingerprint Image Structuring

Akihisa KODATE Qing ZHU Yoshiyori URANO Hideyoshi TOMINAGA
Waseda Research Center Dept. of Electronics and Communication Eng.
Telecommunication Advancement Organization WASEDA University
1-21-1 Nishi-Waseda, Shinjuku-ku 3-4-1 Ohkubo, Shinjuku-ku
Tokyo, 169 JAPAN Tokyo, 169 JAPAN
Tel. +81-3-5286 3130 Fax: +81-3-5287-7287
Email: akikod@tom.com.waseda.ac.jp

ABSTRACT: Fingerprint is one of the matchless physical features which has been used for the influential evidence in the field of crime investigation from long time ago. In this paper, fingerprint image processing is discussed both from verification and image coding. In the proposed method, fingerprint image is described as a set of ridges, which are the unit, with their layout information and shape information. To cope with the input noise such as faintness, ridge shape information is described by wavelet extrema that can reconstruct the approximate original image. Through simulation experiments, a part of a fingerprint was identified as a part of registered fingerprint and the proposed method's basic applicability was confirmed.

Key Words: Fingerprint, Personal Identification, Information Security, Wavelet transform, Image Compression

key words

カード)に本人確認のためのデータを記録する。簡易型本人照合システムとして、記録された本人の身体的特徴を記録したICカードを用いた図1のようなシステムを想定する。本人照合システムは、次のような手順で動作する。

1. ICカード保持者(本人)は、本人確認のためのID情報をシステムに入力する。
2. システムは、入力された情報を解析し、ID情報を抽出する。
3. 抽出ID情報と、カード上のID情報との照合。

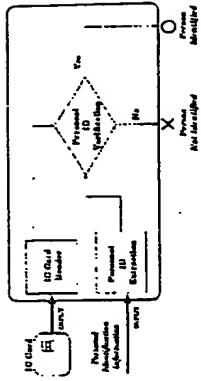


図1: ICカードを用いた本人確認システム。

2.2 ICカード情報の記入/書き換え手順

- ・個人情報の登録は、正当な権限によって本人確認がなされるとICカードが発行され、その場で個人情報が書き込まれる。
- ・ユーザーは、必要に応じて、登録情報を書き換えることができるが、その際、正当な権限による書き換えの承認が必要である。

本方式の特徴として、個人情報はICカードに記録されており、また本人照合が完了したシステム内でなされるため、ネットワークを介したシステムと比べ、情報の盗難の危険性は低減すると考えられる。この方法では、ICカードに記録されたデータが不正に書き換えられないことが前提となるが、ネットワークを介して本人確認の際の安全性を高める機能を付加することも可能であろう。

2.3 指紋画像処理について

従来の指紋画像処理は、誤識別以下の1種類に分類できる。

1. 照合及び検索のための特徴抽出

1 はじめに

ネットワークアクセスやICカード利用時等において、本人を正しく確認する機能は必要不可欠である。これまで、パスワードや暗証番号といった本人の記憶に頼るという点、なりすましなどの危険性において、十分な安全性は保証されているとされている。これに代って、指紋・音声・顔面・掌紋といった個人に特有な身体的特徴を鍵とする手法は、安全性の点で優れており、数多くの研究及び実用システムの開発が行われている。中でも、指紋は、「万人不同」「再生不能」の個人の身体的特徴であるとして、古くから犯罪捜査等の分野において本人同定の有力な証拠として用いられてきていることは周知の事実であるが、プライバシーに関する懸念が大きい。気軽に本人を識別する方式として、昨今は、顔を用いた方式が注目を浴びている。日常的に、我々も他人を識別する際には、顔によって識別している場合が多く、こうした非接触型の方式は、実用化された際にもさほど違和感はなく受け入れられることが予想される。しかし、時間的変動や変位によるなりすましの問題が存在し、これに対して時間的に動き情報を付加したポスターラングエージをパスワードとして用いる方法も提案されている[1]が、そのためには大がかりなシステムが必要となる。

今後、本人同定の問題は、インターネットに見られるように、ネットワークの高機能化や、移動通信環境が整備されて、人間のモビリティが向上することによって、身体的特徴によるより安全性の高い本人照合技術と、システムの簡易性が求められる。以上のような観点から、簡易で十分に本人同定を行うための手法としては、指紋による方式が極めて現実的であり[2]、本稿では、簡易型本人照合システムのための、指紋画像処理手法について検討した結果を報告する。

2 システム設計

2.1 簡易型本人照合システム

現在、クレジットカード使用時に行われている平井きによる署名と本人によって自ら書かれた署名との照合によってなされている本人同定を指紋を利用し行うことを考える。インターネットやフロッピーディスクを用いたオンラインシンポジウムにおいては、クレジットカード番号のみに基づいて、本人確認・課金が行われることがあり、十分な本人確認が行われているとは言えない。そこで、クレジットカードにICチップを組み込んだスマートカード(通称IC

電子情報通信学会技術研究報告

PRMU 97-37~47

〔パターン認識・メディア理解〕

1997年6月19日



EIC 社団法人 電子情報通信学会

電子情報通信学会技術研究報告目次

CONTENTS

(パターン認識・メディア理解)

(Pattern Recognition and Media Understanding)

一 テーマ・セッション	
「セキュリティと個人同定のためのパターン認識・理解」(1) -	
(1) PRMU 97-37	
指紋画像の抽出化による照合/画像符号化システムの提案	1
小館光之・朱 青・浦野義頼(通信・放送機構), 富永英義(早大)	
(2) PRMU 97-38	
指紋同定のための2値化手法の評価	9
三木 幸(徳山高専), 西田幸弘・浜本義彦・宮田廣吾(山口大)	
(3) PRMU 97-39	
信頼度つき特徴情報の融合による指紋分類	15
内田 薫・亀井俊男・溝口正典・天満 勉(NEC)	
(4) PRMU 97-40	
近傍マニッシュ情報を用いた掌紋位置合わせ手法	23
門田 啓・吉本誠司・溝口正典・天満 勉(NEC), 中川聡因・大野英雄(警察庁)	
一 テーマ・セッション	
「セキュリティと個人同定のためのパターン認識・理解」(2) -	
(5) PRMU 97-41	
DPマッチング法の逐次適用による日本語名のオフライン照合	31
吉村ミツ(中部大), 吉村 功(東京理科大)	
(6) PRMU 97-42	
テキスト提示型筆名照合手法に関する一検討	39
山崎 恭・小松尚久(早大)	
一 「パターン認識・メディア理解一般」(1) -	
(7) PRMU 97-43	
発見的な手法を用いたオンライン多言語文字認識の改良	47
李 在俊・金 碩衡(韓国科学技術院), 中嶋正之(東工大)	
(8) PRMU 97-44	
フィラネットによる郵便番号の切り出し	55
横山延雄・藤吉弘直・梅崎太造・吉村ミツ(中部大)	
(9) PRMU 97-45	
ニューラルネットワークを用いた顔特徴点の検出とその精度	63
菅井 満・藤吉弘直・梅崎太造(中部大), 吉田博明(三洋電機)	
(10) PRMU 97-46	
アクティブカメラのズームレンズのキャリブレーションにおけるターゲットと精度	71
沼尾利夫・興富正敏(東工大)	
(11) PRMU 97-47	
レーザープリンタの自動判別について	79
李 芒・山崎一・田村裕一(新潟大), 小川英光(東工大)	

Note: The articles in this publication have been printed without reviewing and editing as received from the authors.

指紋照合における問題点として、入力方向と位置ずれの問題がある。それらは、入力方向の問題（指紋が常に一定方向で入力されるとは限らない）と入力部分の問題（常に登録指紋の全体が入力されるとは限らない）がある。この問題に對して、指紋照合の観点、分岐点の位置、方向及びこれらの特徴点間の距離を照合のための特徴とするマニピュレーションネットワーク方式[6]が本稿とされている。

2. 高効率画像処理
指紋の最終的な一致情報は、1枚に対してなされる。そのため、指紋の特徴データだけでなく、画像データを保存する必要があり、指紋あたりのデータ量を照合に支障のない範囲で小さくする必要がある。例えば、米国では、一日当たり、30,000を越える指紋データの登録がなされており、通称登録は、ウェーブレット変換とされており、最新の高度な高効率画像処理方式を採用することとなった。[6] 変換、0次元による照合は、2次元化された特徴化画像があれば十分であると思われ、特徴化画像をフラクタルにより圧縮符号化する方式[6]も提案されている。

上記の2つのアプローチは、元来別々の目的のしとに採用されたものであるため、照合と検定を行う全体のシステム構成を考えると、図2に示すように、従来の方式(Conventional Method)は、照合用の特徴情報と検定用の特徴情報を別々に変換する。一方、提案方式(Proposed Method)は、抽出される特徴情報により、照合及び検定の両方を行う。このような方式についての検討は十分なされていない。そこで、本稿では、抽出した個人指紋を照合だけでなく、画像の補充情報としても利用する指紋画像情報表示方式について検討する。

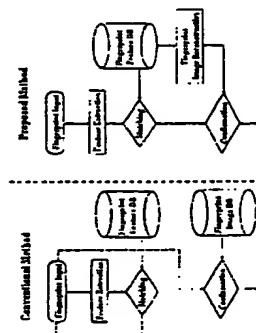


図2: 従来の方式と提案方式

2.4 システム要求条件

システムの要求条件を以下に記す。

- 本人同意に十分な照合性能を有すること
- とりわけ、回転・移動、かすれ、切断などの登録指紋との入力照合に対する高い耐性
- 高い画像圧縮率
- 符号による照合が可能であること
- 高速処理

3 指紋画像の構造化とその記述

本稿で、取り扱う指紋は2次元・細線化された二値画像とする。指紋認識画像の構造は、図3のように、概念的に表現できる。すなわち、指紋は、指紋の構造の連結成分(Connected Component)から構成されており、連結成分は1本の線路からなるものと線路の端が分岐点により結合されたものが存在することとなる。つまりここでは、一本の線路(閉路に端点、また

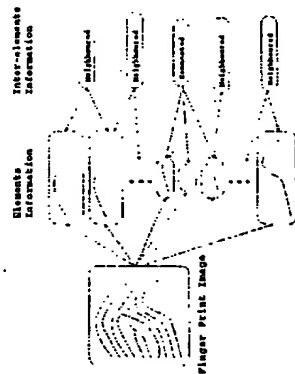


図3: 指紋画像構造の概念的表現

は分岐点を持つ線)を指紋を構成する最小要素として定める。そして、指紋の形状を要素内の情報として、隣接同士の関係(接続、隣接)を要素間の情報として記述する。これらは、1次元、図3の配列図における要素の形態情報と、要素がどのようにつながれているかを示すレイアウト情報とに相当する。両者の組み合わせで、論理的な指紋画像の構造を記述する。[6]

3.1 レイアウト情報(線路の位置関係)

レイアウト情報はあたなるのが、隣接同士の位置関係(接続・隣接)である。隣接同士の接続関係は、図4

に示すように、各特徴点、部分の関係を示す特徴点・接続グラフと部分の関係を示す部分接続グラフによって表現される。一方、隣接同士の接続関係は、

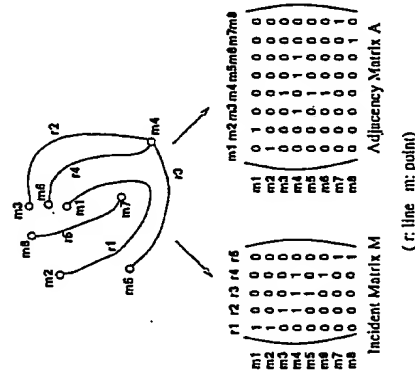


図4: 特徴点接続グラフと部分接続グラフ

隣接関係(隣接の両端マニピュレーションからの伸びた法線が最初に交差する他の線路)の抽出によって、図5のように表現される。

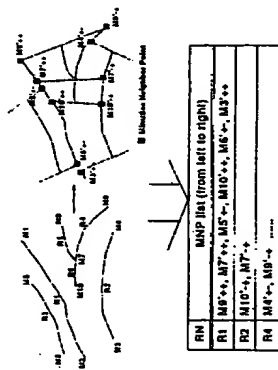


図5: マニピュレーション特徴点と隣接関係の記述例

3.2 形態情報(線路形状特徴の記述)

照合及び圧縮のための重要な要素が線路形状の記述方式である。概しては、これまで、フラクタル、フリーエッジ法による線路の形状記述方式について検討してきた[6][7]が、両者は共に点と線、部分の位置に依存するため、部分的に抽出された場合の照合性能は高くない。また、入力ノイズに対する耐性が高いことが望まれる。これらの条件を満たすものとして、多量解法解析法が有効であると考えられる。例えば、ウェーブレット変換を用いる手法は、認識、照合の両方で、データ圧縮の点で期待できる。今回は、線路の形状特徴をウェーブレット変換によって得られる変換係数の振幅(ウェーブレット係数)を用いて線路の形状特徴を記述することとする。つまりウェーブレット変換係数の一次変換係数のゼロ交差点上のウェーブレット変換係数の値がウェーブレット係数である。ウェーブレット係数によるパターン表現は、一連の多重解法表現であり、次のような性質を有することが知られている。[6]

- 形状を解析する方法として、多重解法解析の持つ有効性を持つ。
- 変換対象とする図形に傾斜角を付した場合は、傾斜角が、あるスケールにおける傾斜角の位置、傾斜角の大きさが大きい傾斜角を表現する。
- 点対称法[6]により、原図の傾斜角が可能である。
- 傾斜角による傾斜角が可能であるため、傾斜角の値を元データとして保存すれば良く、データの量の削減が可能であり、圧縮符号化方式として利用できる。

ウェーブレット係数は、直線的なパターンを性質を照合に表現したもの[10]であり、本稿では、有力な線路の形状表現手段、及び照合のための特徴情報となると考えられる。

3.3 ウェーブレット係数による線路の形状表現

線路形状のウェーブレット係数は次のような手順で得られる。

- 線路の差分曲率関数を求める。線路の全長(L_n)を計算し、 $L_n < 2^n$ となる最小の n (n は正の整数)を求め、線路を 2^n 分割する。図8に示すようにして求めた $G(n) = G_n$ が差分曲率関数となる。
- 差分曲率関数をウェーブレット変換する。ウェーブレット関数にはB-Spline関数を用

いた。

3. 得られたウェーブレット係数のうち、正の最大値と負の最小値を極値として取り出す。これらは、各々凸角、凹角に対応している。[10]

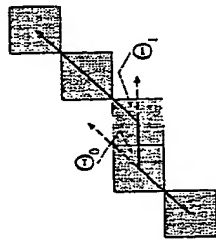


図 6: 部分曲率関数の測定

一指紋線から算出したウェーブレット極値の図を
図 7 に示す。

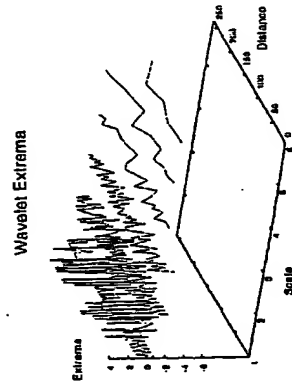


図 7: 指紋線から得られたウェーブレット極値

求めた極値により照合を行う。照合は次の手順で行われる。参照指紋を R_{ref} 、照合用入力指紋を R_{in} とした時、

1. 代表的なスケール上における極値列

$$E_{ref}, E_{in} = \{e_{ref,1}, e_{ref,2}, \dots, e_{ref,n}\}, \{e_{in,1}, e_{in,2}, \dots, e_{in,n}\}$$
(但し $E_{ref} = \{e_{ref,1}, e_{ref,2}, \dots, e_{ref,n}\}$ は極値の値、 d は極値間の距離を示す。
2. 特徴パラメータ (検出する極値の値、間隔) の比較

$$e_{ref,i}, e_{ref,i+1}, e_{in,i}, e_{in,i+1}$$
 を比較。一定範囲内の $|e_{ref,i} - e_{in,i}|$ に対して、一定の閾値以

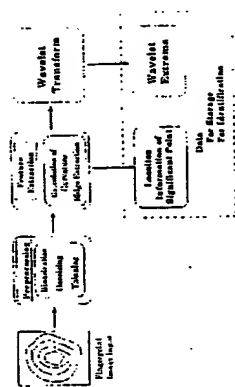


図 8: ウェーブレット極値の検出手順

内ならば、一致の可能性ありと判定。(図 D)

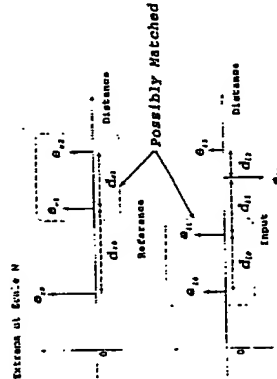


図 9: 極値による隣接部分の照合の概念

3.4 符号化

図 11 に、符号化パラメータのイメージを挙げる。各極値はその長さによって、長い順に番号付けがなされる。各極値は、有意味な点によって細かい区間に分割し、それぞれの要素の形状をコードに置き換えて表現する。隣接部分の情報は、隣接部分と検出部分との 2 種類の分けで記され、それぞれ隣接・検出する極値の番号によって表現される。その他、指紋画像の復元のために、各極値の端点の距離が必要となるため、極値の端点の絶対距離または、相対距離を記録する。

4 シミュレーション実験

提案方式の有効性を検証するため、以下のような実験を行った。今回は、算出したウェーブレット極値から隣接部分の一致可能性を測定する実験を行った。

4.1 部分照合実験

まず、ウェーブレット極値による照合性能を検証するために部分照合実験を行った。図 12 の登録指紋



図 12: 登録指紋画像 (Size: 480×480)

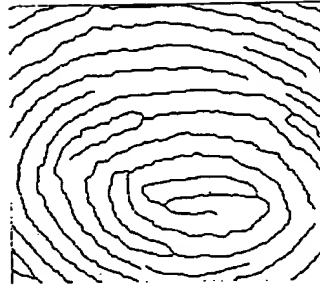


図 13: 入力指紋画像 (Size: 200×200)

画像 (全体: 480 × 480: 画素 72 本) に対して、四角形の部分指紋 (図 13) に対して、各スケールにおける一致検出部分の数を測定した。図 14~図 18 に、

各線指紋画像の1線に付して、各分派枝内の各線と一致度を照合時の枝のずれの許容度を20%~10%と変化したながら計算した結果を示す。部分指紋の線数8(Line Number 8)が正しい対応線数である。許容度を下げいく(照合時の閾値を下げる)につれて、線数8の一致度が他線数と比べて大きくになっているのが確認できる。線数番号は長さが長い順につけられているため、長い許容度では、線数1の一致度が最も高くなっている。

Number of Matched Parameters

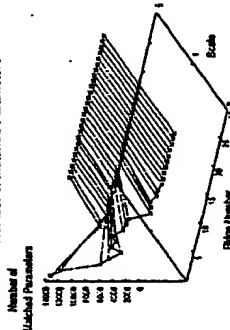


図 14: 部分照合実験 (許容度 20%)

Number of Matched Parameters

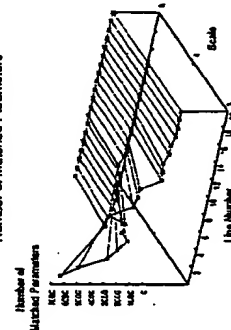


図 15: 部分照合実験 (許容度 15%)

4.2 照合/符号化用パラメータのスケールとの関係について

次に、各線指紋(図12)を構成する各線に付して、照合/符号化用のパラメータであるウェーブレット係数、線数の間隔のスケールに対する変換の度合を算定する実験を行った。

Number of Matched Parameters

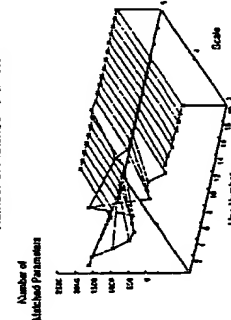


図 16: 部分照合実験 (許容度 10%)

4.2.1 指紋内側線数値、線数間隔

まず各スケールにおける線数・線数の間隔の平均値を求め、それを指紋内側線数値、線数間隔とした。各スケールにおける計算結果を表1に示す。これより、スケール1における線数の線数がノイズを多く含んで類似していることが分かる。また、スケールを粗くしていくと、線数値の減少と共にノイズ、また有意情報も欠落していく。そこで、ノイズが除かれた必要な情報の残っているスケールを見出す必要がある。

表1: 各スケールにおける線数・線数の平均値、線数の間隔、線数値の線数間隔

スケール	線数値の平均値 ($\times 10^{-3}$)	線数値の線数間隔 ($\times 10^{-3}$)	線数値の線数間隔 ($\times 10^{-3}$)
1	1.70	3.01	2.08
2	1.02	3.73	1.00
3	4.80	5.77	1.11
4	7.82	10.30	0.74
5	14.78	21.82	0.57
6	22.08	50.48	0.57

4.3 各スケールにおける線数の線数値からの差分

上で求めた線数値を基にして、同指数を構成している線数の線数値との差分を以下に示す手順で算定した。

1. 線数iのスケールkの線数値を求め、
 $R_{ik} = \{e_{k0}, d_{k0}, e_{k1}, d_{k1}, \dots, e_{k(n-1)}, d_{k(n-1)}\}$
2. 式(1)のように平均差分を求める。

参考文献

- [1] 伊藤典男, 宮永 英彦: "掌指の肉質的変化を用いた個人識別手印", 信学論 D-II, J78-D-II, No.9, pp. 1315-1324 (1995).
- [2] 尾崎 哲, 松本 勉, 小井 秀雄: "指紋の小断片を用いた個人識別方式", 信学論 D-II, J78-D-II, No.9, pp. 1325-1333 (1995).
- [3] 浅井 敏, 尾崎 秀夫, 木他 和夫: "マニキュアネットワーク特徴による自動指紋照合", 電子情報通信学会論文誌, J72-D-II, No.8, pp. 733-740 (1989).
- [4] J. N. Bruiley and C. M. Bridgman: "The FBI Wavelet/Scalar Quantization Fingerprint Image Compression Standard", Proc. Nat'l Media Lab. Conf. Solid-State Memory, No. LA-UR-94-1400 in Tech. Rep. (1994).
- [5] 山田 道夫, 伊藤 典男, 宮永 英彦: "指紋画像ファイルのための特徴抽出による高次元圧縮符号化方式", 信学論 D-II, J78-D-II, No.3, pp. 547-550 (1993).
- [6] 山田 道夫, 小畑 亮之, 宮永 英彦: "指紋画像の圧縮と照合方式の提案", 信学論 D-II, J78-D-II, No.9, pp. 2004-2014 (1993).
- [7] 小畑 亮之, 伊藤 典男, 宮永 英彦: "指紋の形状特徴を利用した指紋画像圧縮の一種", 信学論 D-II, No. 408, pp. 7-14 (1994).
- [8] 小畑 亮之, 宮田 秀: "指紋画像の2次元形状特徴の表現", 信学論 D-II, J78-D-II, No.9, pp. 1288-1297 (1995).
- [9] S. Z. S. Mallat: "Characterization of Singularities from Multiscale Edges", IEEE, PAMI, Vol.14, No.7, pp. 710-732 (1992).
- [10] 中村 裕一, 大田 友一: "認識と生成を双方向に行うための多層解像度表現・ウェーブレット係数による形状生成/編集", 信学論 D-II, No. 172 in PAMI'95, pp. 39-46 (1995).

$$\Delta E_{kav} = \sum_{i=1}^n |E_{ki} - E_{kav}| \quad (1)$$

3. 各スケールに付して1, 2を繰り返して、全ての線数の平均差分を求める。結果を図17に示す。

Difference from the Standard Extrema

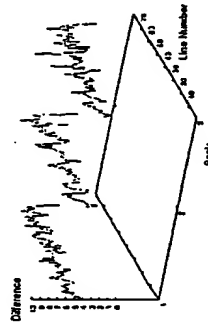


図 17: 各スケールの線数別平均差分の算定

実験結果より、スケールを大きくしていくにつれて、線数形状の類似性からずれていくものがあることが確認できる。符号化の際に、各指紋内、あるいは一般的に指紋に共通する線数(線数モデル)をいくつか定め、その線数に最も近い線数モデルとその差分値とによって符号化する手法が効果的であると思われる。そのため、線数形状の特徴的な線数を高速に抽出するため、線数値の線数間隔、及び線数方法については、さらなる検討を要する。

5 おわりに

本稿では、まず、指紋の線数画像を線数を単位として符号化し、線数のレイアウト情報と線数の形状情報とによって、指紋全体の特徴を記述することを提案した。また、指紋画像処理時に同型となる位置すれ、かすれ、切断等の入力適応に対する方法として、部分照合を可能とすること、及び画像符号化の際点から多層解像度解析法の一種であるウェーブレット解析によるウェーブレット係数によって線数の形状を記述する手法を提案した。

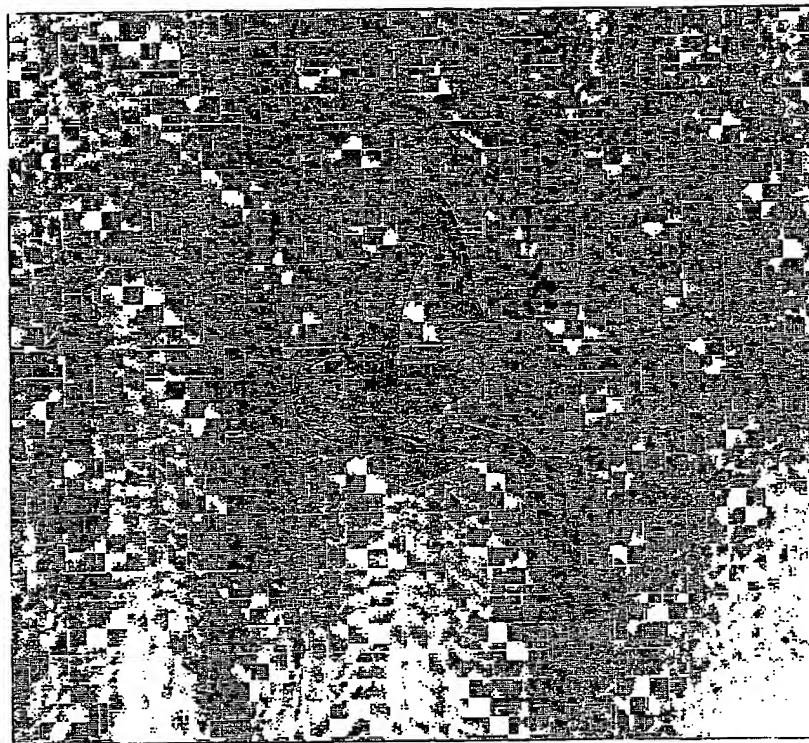
提案方式に基づいて指紋の部分照合実験を行った結果、適切な線数値を算定することで、提案方式によって一致率線数値として対応する線数が抽出可能であることを確認した。今後の課題として、サンプルを増やした時の本方式の照合性能の検証及び、符号化効率について検討していくことをあげる。

〒107 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3F
TEL/FAX 03-3475-5018

In order to photocopy any work from this publication legally, you or your organization needs to obtain permission from the following organization that has been delegated for the copyright clearance by the copyright owner of this publication.

[U.S.A.] Copyright Clearance Center, Inc.
222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, USA
Phone (508) 750-8400 Telefax (508) 750-4744

Copyright and reproduction permission: All rights are reserved and no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. Notwithstanding, instructors are permitted to photocopy isolated articles for noncommercial classroom use without fee.



いいコミュニケーションがこの星を変えてゆく。

あまりにたくさん複雑な問題を抱える地球。

この尾の犬米は、人間がどれだけ力を介わせられるかにかかっています。

ひよりひとりの力は小さくても、いっしょに考え、取り組みれば、きっと大きな力になる。

NECはマルチメディアをはじめとするコミュニティケーションの技術で、地球の豊かな未来に役立ちたいと考えています。

UN

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK